

EVOLUÇÃO DOS REPAROS EM CARROS TORPEDO COM SHOTCRETE*

Braulo Silvano Hemétrio¹
Ricardo Israel do Couto²
Roselaine Gonçalves Magalhães³

Resumo

A indústria de refratários e o setor siderúrgico têm desenvolvido métodos versáteis e automatizados para o reparo e a instalação de refratários em substituição às tradicionais técnicas de moldagem de concreto. Seguindo essa tendência, a Usiminas direciona esforços para melhorar o desempenho dos carros torpedo. Dentre as várias práticas, destaca-se a aplicação de *shotcrete*, que consiste na projeção de uma camada de concreto na superfície do tijolo, atuando como refratário de sacrifício e contribuindo para a redução de desgaste. Com o intuito de melhorar os indicadores de performance, a prática de reparo foi ajustada de modo a coincidir o desgaste da camada de recobrimento com os intervalos de parada, atenuando a degradação dos tijolos. Nesse trabalho são apresentadas e discutidas as ações que nortearam o desenvolvimento de um novo concreto, o controle de espessura do *shotcrete* e um sistema de ancoragem da camada de proteção. Os resultados obtidos foram significativos em relação ao perfil do consumo específico de refratários e à redução do consumo de tijolos.

Palavras-chave: Refratário; Carro Torpedo; Shotcrete.

EVOLUTION OF REPAIRS IN TORPEDO LADLE CARS WITH SHOTCRETE

Abstract

The refractory industry and the steel industry have developed versatile and automated methods for the refractories repair and installation in concrete molding techniques traditional replacement. Following this trend, Usiminas has directed efforts to improve torpedo ladle cars performance. Among several practices, it is worth mentioning the application by shotcrete, which consists in designing a concrete layer on brick surface, acting as a sacrificial refractory and contributing to wear reduction. In order to improve performance indicators, the repair practice was adjusted to coincide recoating layer wear with the stop intervals, thus attenuating the bricks degradation. This work is presented and discussed actions that guided the a new concrete development, the shotcrete thickness control and a protection layer anchorage system. Significant results were obtained in relation to refractories specific consumption profile and reduction the bricks consumption.

Keywords: Refractory; Torpedo Ladle Cars; Shotcrete.

¹ Engenheiro de Materiais, Supervisor de Manutenção, Usiminas, Ipatinga, Brasil.

² Engenheiro Civil, Coordenador de Manutenção, Usiminas, Ipatinga, Brasil.

³ Engenheira de Materiais, Pesquisadora, Usiminas, Ipatinga, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os carros torpedo da Usiminas são tradicionalmente revestidos com tijolos do sistema Al_2O_3 -SiC-C. Esse revestimento utilizado há mais de 10 anos associado à prática de reparos intermediários, possibilitou o aumento da expectativa de vida de 300.000 t para 1.000.000 t de gusa transportado (figura 1). Os reparos intermediários consistem na substituição de tijolos das regiões mais críticas e na projeção de uma camada de concreto de alto desempenho na superfície dos tijolos, pela técnica de *shotcrete*. Esta técnica consiste em bombear o concreto previamente misturado com a água até o local de aplicação. Na saída da tubulação é acoplado um dispositivo (bocal de projeção) que possui uma entrada para ar comprimido, responsável por gerar um *spray* de concreto sobre o local de recobrimento [1].

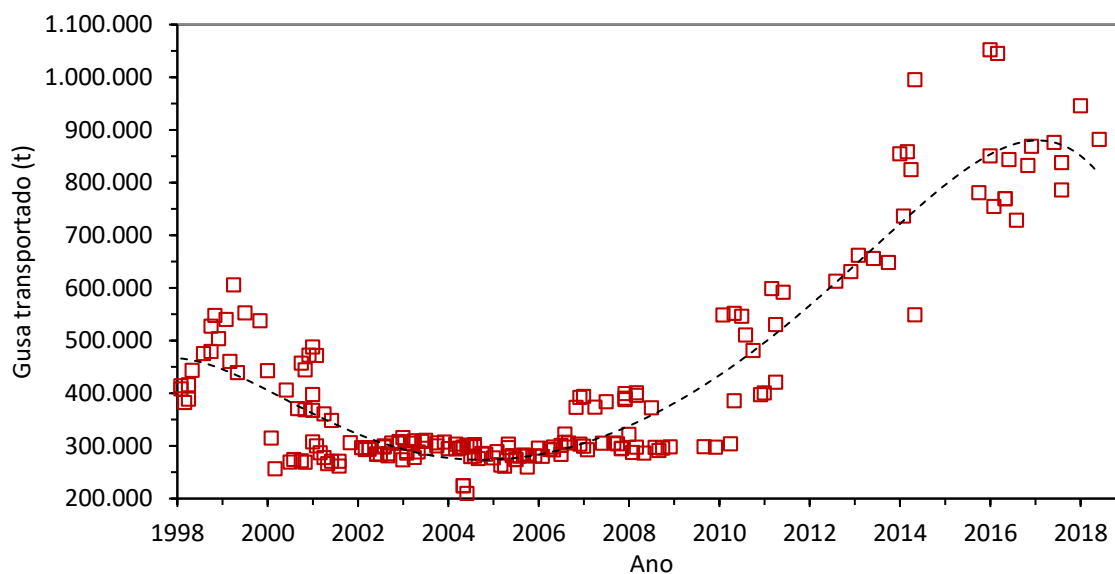


Figura 1. Evolução da campanha dos carros torpedo na Usiminas.

No entanto, a partir de 2016, houve aumento significativo no consumo dos tijolos refratários, que foi atribuído à oxidação e ao desgaste acentuado do revestimento da região de teto e da linha de escória (figura 2).



Figura 2. Fotografia de um carro torpedo evidenciando a severa oxidação do teto.

Assim, com o objetivo de otimizar a campanha dos carros torpedo, foram ajustadas as propriedades do tijolo, que resultou em um revestimento balanceado do sistema Al_2O_3 -SiC-C-espínélio para a região de teto e linha de escória e Al_2O_3 -SiC-C para a

região de metal [2]. Adicionalmente, iniciou-se uma série de ações para adequação da prática de reparos intermediários, trabalhando principalmente no *shotcrete*.

O concreto atua como uma camada de sacrifício, inibindo o resfriamento e aquecimento súbitos dos tijolos após o basculamento e carregamento do carro torpedo, respectivamente. Além disso, protege o tijolo da oxidação.

Visando obter o melhor custo/benefício com os reparos intermediários, foi desenvolvido um plano de manutenção dos carros torpedo, que ocorre a cada 100.000 t de gusa transportado, focando na aplicação de *shotcrete* (figura 3).

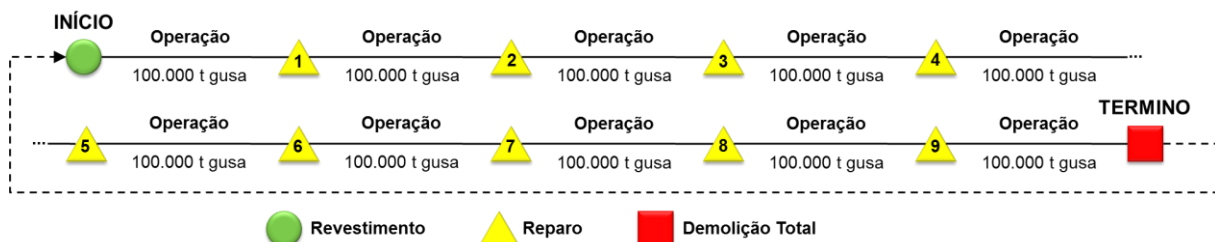


Figura 3. Plano atual para reparo intermediário dos carros torpedo da Usiminas.

É notório que pequenas alterações nas formulações dos refratários e ajuste no projeto são necessárias ao longo do tempo para que o revestimento se ajuste ao processo e práticas metalúrgicas vigentes. Nesse contexto, são apresentados e discutidos os resultados do desenvolvimento de um novo concreto de alto desempenho, do controle de espessura do *shotcrete* e do sistema de ancoragem da camada de proteção.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Desenvolvimentos de Concreto de Alto Desempenho

Com o intuito de definir os refratários para o recobrimento dos tijolos para carro torpedo, foram avaliados, por meio de testes laboratoriais, 3 diferentes concretos do sistema Al_2O_3-SiC , tipicamente aplicados pela técnica de *shotcrete*. Para o ranqueamento dos materiais, foram utilizados os resultados de resistência ao ataque por escória. O teste foi realizado em forno rotativo entre 1550 e 1600°C, utilizando escória típica de altos-fornos (figura 4).

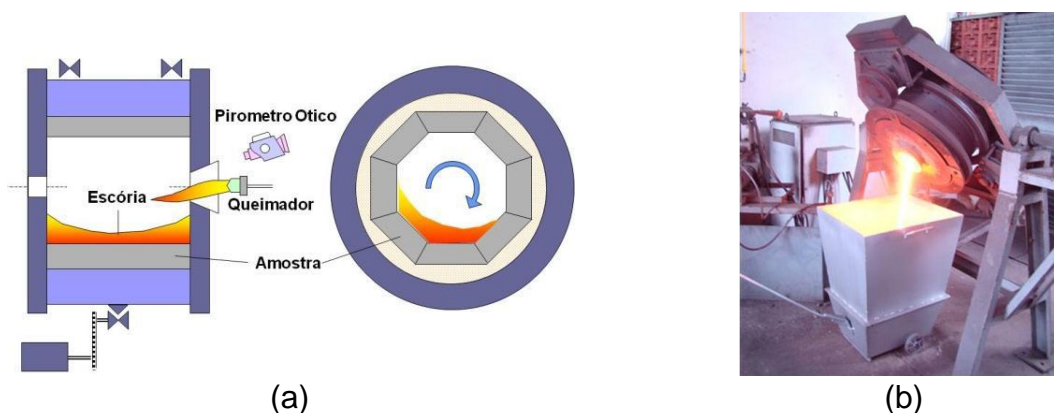


Figura 4. Ensaio de ataque por escória em forno rotativo: (a) desenho esquemático do ensaio e (b) fotografia do forno evidenciando o vazamento da escória.

Esse teste permite uma combinação de mecanismos, tais como: corrosão, abrasão e erosão, que são provocados pela rotação dos corpos de prova em conjunto com a escória.

De uma forma geral, os concretos propostos exibiram desempenho superior ao de uso normal. Em relação ao concreto proposto 3, o resultado se mostrou 27% superior ao concreto de uso normal (figura 5). Podendo ser explicado em função da superior resistência mecânica após queima à 1450°.



Identificação	Seção Longitudinal	Desgaste (%)
USO NORMAL		45 ± 2
PROPOSTO 1		30 ± 2
PROPOSTO 2		22 ± 1
PROPOSTO 3		12 ± 1

Figura 5. Percentual de desgaste e o aspecto da seção longitudinal dos corpos de prova após o teste de ataque por escória em forno rotativo.

2.2 Adequação da Espessura da Camada de Concreto

A aplicação de uma camada de concreto na superfície do tijolo conduziu ao sucesso pleno do revestimento refratário por anos. Entretanto, com as modificações operacionais e os reparos intermediários surgiu a necessidade da sua adequação.

A princípio, para proteção do revestimento, o conceito era aplicar uma camada média de 40 a 60 mm em todo o carro torpedado. No entanto, os maiores desafios eram a distribuição do material de forma homogênea e com espessura de acordo com o especificado. Assim, a prática foi modificada para aplicação de espessura balanceada, ou seja, de acordo com o desgaste de cada região.

Partindo disso, surgiu a necessidade de aprimorar o controle de espessura da camada por meio de uma referência, uma vez que, o material aplicado era baseado na experiência do aplicador e consistia de uma camada fina e irregular de concreto refratário na superfície do tijolo (figura 6).



Figura 6. Fotografia da aplicação de uma camada fina e irregular de proteção na superfície do tijolo.

2.2.1 Utilização de Gabarito Metálico

Inicialmente, para a determinação da espessura da camada aplicada, foi utilizada uma haste metálica contendo uma marcação em sua extremidade (figura 7). A marca indica a espessura visada da camada de concreto. Durante o reparo do carro torpedo foram utilizados três gabaritos de tamanhos diferentes conforme o desgaste de cada região.

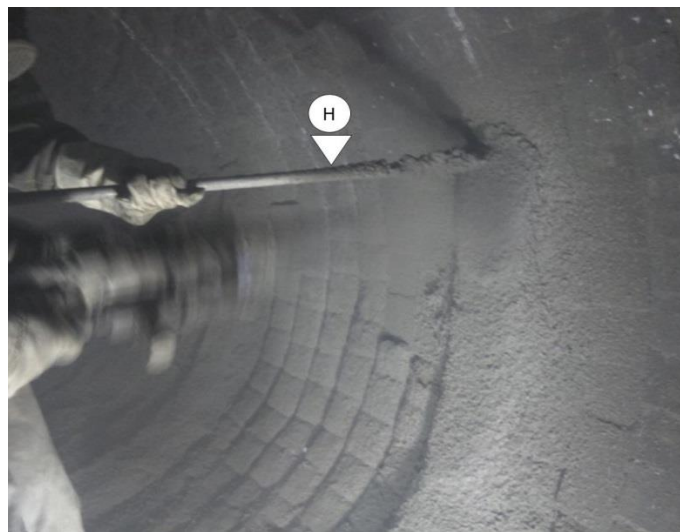


Figura 7. Fotografia da utilização do gabarito metálico para a confecção das mestras: H – Haste metálica.

O aplicador utilizou o gabarito metálico para a confecção da marcação tipo mestras, a cada 1000 mm. Posteriormente, foi realizado o preenchimento dos vãos entre as mestras. Assim, as marcações foram utilizadas como referência para a camada de shotcrete (Figura 8).

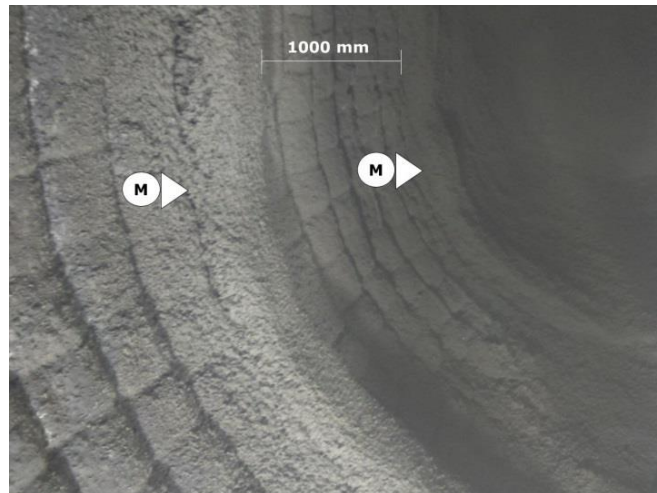


Figura 8. Fotografia da confecção da mestra como espessura de referência: M – Mestras.

Entretanto, a utilização de gabarito metálico se mostrou limitada, pois para um único reparo eram necessárias várias hastes metálicas com espessuras distintas, que impactavam no rendimento da atividade.

2.2.2 Mestras de Tijolo Refratário

Com objetivo aprimorar a aplicação da camada de *shotcrete* balanceada, conforme o desgaste de cada região, surgiu a necessidade de desenvolver mestras de tijolos refratários. As peças foram confeccionadas a partir de tijolos típicos de carro torpedo no formato prismático. Posteriormente, as mestras foram coladas na superfície do revestimento de trabalho. Para facilitar a identificação, as mestras foram pintadas de cores diferentes de acordo com a sua espessura. Na tabela 1 e figura 9 são apresentadas, respectivamente, as dimensões e a fotografia das mestras instaladas no interior do carro torpedo.

Tabela 1. Identificação e espessura das mestras

Coloração da mestra	Altura da mestra(mm)
Vermelho	80
Branco	100
Amarelo	60



Figura 9. Fotografia da utilização das mestras de tijolo utilizadas como referência.

2.2.3 Mestras e Ancoragens de Tijolo

Ao longo dos reparos intermediários, os tijolos das regiões críticas que apresentam desgaste acentuado são substituídos por tijolos novos ou recuperados, de dimensões superiores aos do revestimento atual. Assim, foi observado melhor desempenho para a camada de proteção da região próxima aos tijolos substituídos (figura 10). Dessa forma, acredita-se que o tijolo utilizado no reparo intermediário tenha atuado como âncora para a camada de *shotcrete*.



Figura 10. Fotografia evidenciando a camada de *shotcrete* após o transporte de 100.000 t de gusa:
C - camada remanescente de concreto.

Nesse sentido, com o intuito de melhorar a performance da camada de concreto, durante o revestimento do carro torpedo, foram realizadas ancoragens de tijolos nas regiões de teto e linha de escória (figura 11).



Figura 11. Fotografias das ancoragens de tijolos refratários em carro torpedo.

A utilização da mestra no fundo do carro torpedo associada à utilização de ancoragem na região de teto e linha de escória permitiu maior eficiência da camada de proteção no carro torpedo (figura 12). Nesse sentido, o *shotcrete* da região de fundo, que possui o menor desgaste, varia entre 60 e 80 mm (mestra amarela e vermelha). Em relação à região de teto e linha de escória, que apresenta o maior desgaste, a camada de *shotcrete* varia entre 100 e 150 mm.



Figura 12. Fotografia do interior do carro torpedo evidenciando as mestras e as ancoragens.

2.3 Resultados Industriais

Em 2018, após as adequações do reparo intermediário utilizando mestras e ancoragem, foi realizada uma experiência industrial que consistiu em aplicar uma camada de 150 mm de concreto na região da linha de escória, por meio da técnica de *shotcrete*. Após o transporte de 100.000 t de gusa, o carro torpedo teste foi retirado de operação. Durante a sua inspeção, foi verificado que não houve desgaste no tijolo de trabalho e que a camada de concreto foi eficiente no sentido de proteger o revestimento (figura 13).



(a)



(b)

Figura 13. Fotografias do revestimento interno do carro torpedo: (a) após o reparo e (b) após o transporte de 100.000 t de gusa.

Percebeu-se, portanto, que os ganhos foram significativos em relação à manutenção dos carros torpedo com a introdução e evolução dos reparos por *shotcrete*. Foi observada uma redução de 32% no consumo dos tijolos refratários (figura 14). O aumento da vida útil da campanha permitiu reduzir o tempo de parada do equipamento para reparo e aumentou a sua disponibilidade para a operação. Além disso, verificou-se também uma redução de 6% no consumo de concreto utilizado em boca.

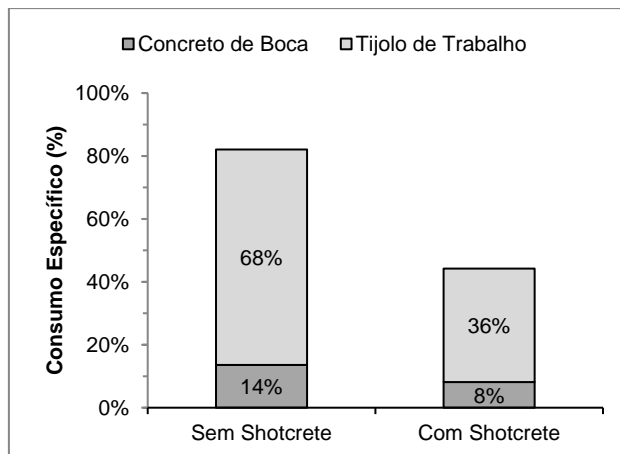


Figura 14. Comparação do consumo de refratários utilizados nos reparos intermediários de carro torpedo na Usiminas.

3 Conclusão

Os esforços da Usiminas para aumentar a campanha dos carros torpedo tiveram sucesso até 2016. Visando melhorar os indicadores de performance, a estratégia foi utilizar concretos de alto desempenho para *shotcrete* e adequar os reparos intermediários dos carros torpedo. Foi selecionado um novo concreto de alta resistência ao ataque por escória. Posteriormente, foi otimizada a camada de proteção aplicada sobre os tijolos. Por meio de recursos de mestras e ancoragens, foi possível adequar a espessura da camada de concreto. Assim, na região de metal, que possui o menor desgaste, foi aplicada uma espessura mínima entre 60 e 80 mm. Já a região mais crítica e de maior desgaste, foi utilizada ancoragem e aplicada uma camada entre 100 e 150 mm.

Em síntese, a utilização de um concreto de alto desempenho associado ao controle de espessura e a utilização de ancoragem alterou o perfil de consumo específico de revestimento para carro torpedo. Os reflexos foram significativos em relação ao consumo de tijolos, que foi reduzido em 32% e, conseqüentemente, diminuiu o tempo de manutenção dos equipamentos, aumentando assim, a sua disponibilidade para a área industrial e gerando maior segurança operacional.

REFERÊNCIAS

- 1 Pileggi RG, Marques Y A, Vasques Filho D, Studart AR, Pandolfelli VC. Wet-shotcrete for refractory castables. American Ceramic Society Bulletin. 2002; 81: 51-56.
- 2 Couto RI, Hemétrio BS, Magalhães RG, Quintela MA. Desenvolvimento de Tijolos Refratários para Carro Torpedo. 73º Congresso Anual da ABM. 2018; 2956-2966.